蝶と蛾 *Trans. lepid. Soc. Japan* **57** (3): 229–236, June 2006

オオモンシロチョウ北海道個体群の光周反応と季節適応

橋本　健一[1)]・八谷　和彦[2)]

[1)] 261-0014　千葉市美浜区若葉2-10-1　千葉県立衛生短期大学生物学研究室
[2)] 060-8588　札幌市中央区北3条西6丁目　北海道農政部食品政策課

Photoperiodic response and seasonal adaptation of the Hokkaido population in the large white butterfly, *Pieris brassicae* (L.) (Lepidoptera, Pieridae)

Ken-ichi HASHIMOTO[1)] and Kazuhiko HACHIYA[2)]

[1)] Laboratory of Biology, Chiba College of Health Science,
2-10-1, Wakaba, Mihama-ku, Chiba, 261-0014 Japan
[2)] Food Policy Division, Department of Agriculture, Hokkaido Government,
Kita 3, Nishi 6, Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8588 Japan

Abstract The photoperiodic induction of diapause in a newly established population of *Pieris brassicae* (L.) in Hokkaido, Japan was investigated. The critical photoperiod for pupal diapause was about 13hr50min at 20°C. In the fields of Sapporo City in Hokkaido, diapausing pupae were obtained late in September. The present results obtained in the laboratory correlated well with the photoperiodic conditions of the diapause incidence observed in the field late in September. A well synchronized emergence from diapausing pupae was induced by chilling at 5°C or 10°C for 160 days. The conditions were comparable to the period of cold season in the habitat of this population.

Key words *Pieris brassicae* (L.), photoperiodic response, photoperiod, diapause, seasonal adaptation, Hokkaido.

オオモンシロチョウ *Pieris brassicae* (L.) は本来, ヨーロッパがその分布の中心であるが, 次第に分布が東方に拡がり, 1995年にはロシア極東部の沿海州で発生が確認され (矢田, 1996), 1996年には北海道南西部と青森県北部での発生が確認された (木村, 1997; 八谷, 1997). その後, 北海道での分布域はさらに拡大し, ほぼ全域で発生するようになった (上野, 2001). 本種には3亜種が知られているが, 日本に侵入したのは, 地中海地域から北ヨーロッパにかけて分布する亜種 *brassicae* とされている (矢田, 1996).

本種は, 多化性で, 長日型の光周反応を示し, 短日条件下で休眠が誘起され, 休眠蛹で越冬する (Danilevskii, 1961). 非休眠蛹と休眠蛹とでは形態的にも差があり, 前者では腹部第3節背側面にとげ状の突起があるが後者ではそれを欠くため外部形態での識別は可能とされている (Johansson, 1959). しかし, 非休眠蛹でも比較的小さい個体では, とげ状の突起を欠くことがあることも知られているため, その識別には注意を要する (藤井, 1997).

また, 休眠の消去要因については, ヨーロッパ産本種を用いて, 一定期間の低温処理が有効であることや (Gardiner, 1985), 長日条件は休眠の消去を促進する効果があることが調べられている (Claret, 1973).

ある土地に侵入した昆虫がその土地に定着するためには, 侵入昆虫の持つ休眠誘起や休眠消去の条件などの生活史特性が, 侵入した土地の季節変化に適応したものでなければならない. 特に, 休眠状態が, 適切な時期に誘起され, また, 適切な時期に消去されることは, 正常な生活史の維持には重要なことである. そこで, 北海道や青森県北部に侵入した個体群が発生を続け, 特に北海道では, 分布を全域に拡大させた要因を解明するための一資料として, 北海道で発生した個体群 (以下, 北海道個体群とよぶ) での, 1. 蛹休眠誘起の光周反応, 2. 休眠消去に及ぼす低温と光周期の効果, 3. 非休眠個体と休眠個体の幼虫期間および蛹期間, 4. 野外での休眠誘起の時期を調べ, 北海道の季節変化に対する適応性について考察した.

材料および方法

1. 幼虫期の光周反応

1997年5月28日に北海道胆振支庁伊達市 (42°30′N), 1998年8月2日に札幌市白石区 (43°03′N), 2001年9月3日に札幌市南区 (42°57′N) でそれぞれ雌成虫を採集し, 鉢植えにしたケール *Brassica oleracea*, var. *acephara* 苗に, 2–3本の支柱を立て, 径42 cmの薄絹製捕虫網を用いて袋掛けをし, その中に1頭の雌成虫を放して明るい窓際におき, 自由に産卵させた. 得られた卵塊を孵化まで室温におき, 孵化した幼虫を直ちに, 20°Cで, 光周条件を, 明期10時間暗期14時間 (以下10L14D), 12L12D, 13L11D, 14L10D, 15L9D, 16L8Dとした恒温器に移し, それぞれの条件に対し, 20–100頭ずつ蛹化まで飼育した. 各条件下で得られた蛹を, 腹部第3節背側面のとげ状突起の有無で非休眠蛹か休眠蛹かの一応の区別をした上で, 20°C・全暗条件の恒温器に移して各個体ごとに蛹期間を調べ, 蛹化後20日以内に羽化した蛹を非休眠蛹, 20日を経ても羽化の兆候が認められない蛹を休眠蛹として, 休眠率を求めた.

幼虫の飼育には, プラスチック製昆虫飼育容器 (27×16.5×高さ17 cm) を用い, 1容器あたり若齢期は約20個体, 中・終齢期は約10個体の幼虫を飼育した. 食草にはケールを用い, 水を入れた小瓶に新鮮な葉をさして与えた. 恒温器内には, 多湿となることを防ぐため, 市販の家庭用除湿剤 (主成分は塩化カルシウム) を置いた. 飼育期間を通して恒温器内の相対湿度は約50–70%RHであった. 照明には恒温器内上部と中段に取り付けた15W白色蛍光灯を用い, 光周期は24時間式タイムスイッチで調節した.

2. 休眠消去に及ぼす低温または光周期の効果

1997年6月9日に北海道後志支庁岩内町 (42°58′N), 1999年8月18日に札幌市南区, 2001年6月23日に小樽市銭函 (43°08′N) でダイコン *Raphanus sativus* の葉に産卵されていた本種の卵塊を採集し, 孵化した幼虫を20°Cで, 10L14Dまたは12L12Dの光周条件下で, 1と同様な方法で蛹化まで飼育した. 得られた蛹は, 1に述べた方法で非休眠蛹か休眠蛹かを調べたところ, すべて休眠蛹であったので, この蛹を用いて, 休眠消去に及ぼす低温の効果を調べた. 休眠蛹をガラス製ペトリ皿 (径20 cm) に約20個体ずつ入れ, それらを5°Cまたは10°C・全暗に調整した恒温器内に入れて低温処理した. 低温処理期間は, 42, 63, 80, 160日とし, それぞれの期間, 低温処理をした後, 15–33個体を20°C・全暗に調整した恒温器に移して加温し, 加温開始から羽化までの日数を個体ごとに調べ, 供試個体数に対する累積羽化率を求めた. また, 一部の休眠蛹を対照として, 低温処理を行なわず, 蛹化後直ちに20°C・全暗の恒温器に入れ, 個体ごとに羽化までの日数を調べ, 累積羽化率を求めた.

また, 休眠消去に及ぼす光周期の効果を調べるため, 休眠蛹を, 15–16個体ずつ, 20°Cで, 全暗・16L8D・12L12Dの各光周条件に調整した恒温器内に入れて, 蛹化から羽化までの日数を個体ごとに調べた.

なお, 低温処理の際には, 蛹を入れたガラス製ペトリ皿内に水で湿らせた脱脂綿を入れ, 羽化までの日数を調べる際には, 恒温器内に水を入れた1000 m*l* ビーカーを置いて蛹の乾燥を防いだ. また, 加温の際には, 羽化時の足掛かりとなるように内側の一部にペーパータオルを貼った金網蓋付円筒形ガラスびん (径12 cm, 高さ18 cm) に蛹を5–10個体ずつ入れた.

3. 非休眠個体と休眠個体の幼虫期間および蛹期間

1のうちで, 非休眠蛹のみ, あるいは休眠蛹のみを生じた光周条件での幼虫期間 (前蛹期間を含む) を個体ごとに調べた. さらに, 1の実験で得られた非休眠蛹, および, 2の実験で得られた休眠蛹のうち, 低温処理により供試個体のすべての休眠が消去されたと考えられた実験群に含まれる蛹の20°C・全暗での蛹期間を個体ごとに調べた.

4. 休眠誘起の時期

1998年および1999年に, 札幌市南区または白石区で, 主に, ワサビダイコン *Cochlearia Armoracia* を寄主植物としていた本種幼虫を, 8月2日に3齢 (以下I群とする), 8月1日に2齢 (II群), 8月22日に3齢 (III群), 9月5日に5齢 (IV群), 9月11日に5齢 (V群), 9月19日に5齢 (VI群) の各群12–30個体ずつを, 採集し, 引き続き, 岩見沢市上幌向 (43°12′N) の屋外の自然日長下で, 予め植栽しておいたダイコンまたはブロッコリー *B. oleracea* var. *botrytis* に, 寒冷沙を用いて袋掛けをし, その中に幼虫を放して蛹化まで飼育した. 得られた蛹が, 非休眠蛹か休眠蛹であるかを1に述べた方法で調べ, 各群ごとの休眠率

を求めた.

結　果

1. 光周反応

幼虫期の光周期と蛹休眠率との関係をFig. 1に光周反応曲線として示した. 休眠率は12L12D以下の光周条件では100%であったのに対し, 13L11Dでは89%, 14L10Dでは46%, 15L9Dでは7%であり, 16L8Dでは0%であった. この曲線から, 50%休眠誘起の臨界日長は約13時間50分と推定された (Fig. 1).

2. 休眠消去に及ぼす低温と光周期の効果

低温処理をしなかった対照群では, 蛹化後210日目に羽化が開始され, 297日目まで続いたが, 羽化率は43%であり, 他はそれまでに死亡した (Fig. 2A).

5°Cでの低温処理期間が42日または63日の場合は, それぞれ加温後60–246日, 17–189日の間に羽化したが, 羽化率はそれぞれ40, 67%であった (Fig. 2B, C). 低温処理期間が, 160日の場合は, 羽化率は100%に達し, 加温から羽化までの期間は, 14–17日の間に集中した (Fig. 2D). これらの結果から, 低温処理期間が160日の場合は, 羽化が加温後短期間の間に集中して行なわれたので, 供試個体のすべての休眠が消去されていたと推定された. 一方, 10°Cでの低温処理期間が80日の場合は, 羽化までに加温後21–57日を要したが, 処理期間が160日の場合は加温後16–18日の間に羽化したので, 10°Cでの処理も低温として有効であり, 160日の処理期間で休眠は消去されたと推定された. しかし, 羽化率はそれぞれ43, 36%と低かった (Fig. 2E, F).

また, 休眠蛹を, 低温処理を行なわずに異なる光周条件下に置いた場合, 16L8Dでは蛹化後75–145日の間に羽化した. しかし, 羽化率は73%にしか達せず, 残りの個体は, この期間内に死亡した. 一方, 全暗または12L12Dでは蛹化後150日目までの間に, 羽化は全くみられなかった. これらの結果から, 16L8Dの光周条件下では, 全暗または12L12Dの各条件に比べ, 休眠の消去が促進されたと推定された (Table 1).

3. 幼虫期間および蛹期間

20°Cでの, 非休眠群の幼虫期間は17.8 ± 0.8日 (平均値 ± 標準偏差, 以下同じ), 休眠群では22.0 ± 1.4日
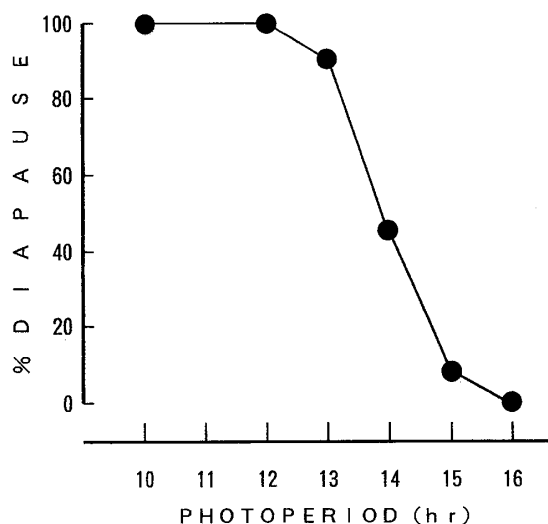
Fig. 1. Incidence of pupal diapause in the Hokkaido population of *Pieris brassiicae* (L.), reared under various photoperiods at 20°C. Each plot indicates mean percentage of diapausing pupae for progenies of females obtained from the field in Date City and Sapporo City (42.5–43.0°N). Sample size for plots in each case is between 22 and 111.
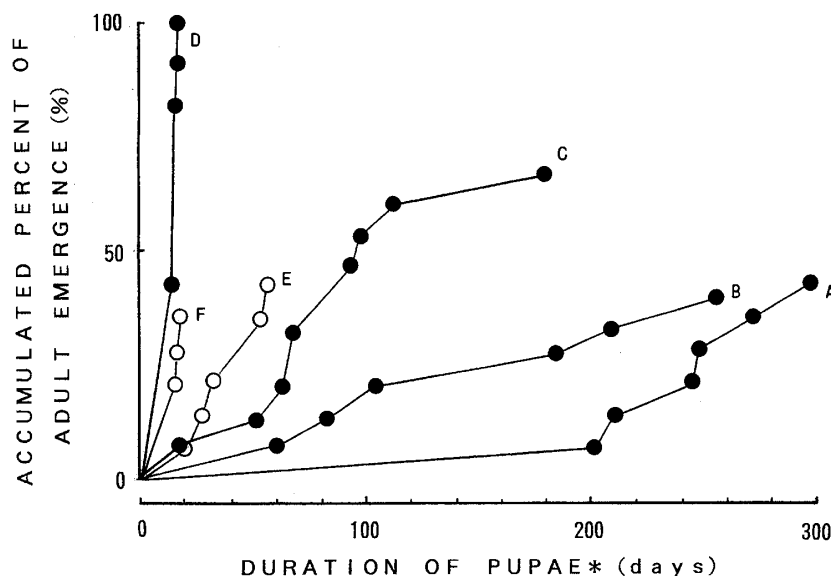
Fig. 2. Effects of various periods of chilling at 5°C (●) or 10°C (○) on the adult emergence of *Pieris brassicae* (L.) from diapausing pupae kept under continuous darkness at 20°C after chilling. A–D groups of diapausing pupae, each composed of 15 to 33 individuals, were chilled for 0 (A), 42 (B), 63 (C) and 160 (D) days respectively. E and F groups, each composed of 14 individuals, were chilled for 80 (E) and 160 (F) days respectively.
*Days from end of chilling period to adult emergence.

であり，休眠群で有意に長かった (p<0.05). また，非休眠蛹の蛹期間は 12.3 ± 2.1 日，休眠蛹の休眠終了後の蛹期間は 14.8 ± 0.9 日であり，後者で有意に長かった (p<0.05) (Table 2).

4. 休眠誘起時期

I 群は 8 月 11–12 日に，II 群は 8 月 16–17 日に，III 群は 9 月 1 日頃，IV 群は 9 月 8–10 日に，V 群は 9 月 14 日に，VI 群は 9 月 22–26 日に蛹化した．蛹の形態および蛹期に基づいて求めた休眠率は，I 群は 0%，II 群は 2%，III 群は 0%，IV 群は 6%，V 群は 20%，VI 群は 100% であった．これらの結果から，野外での休眠蛹形成時期は 9 月中–下旬以降であると推定された (Fig. 3).

考　察

1. 光周反応

今回調べた本種北海道個体群の蛹休眠誘起の臨界日長は 20°C で，約 13 時間 50 分と推定された (Fig.

Table 1. Pupal photoperiod and emergence of adults from diapausing pupae in the Hokkaido population of *Pieris brassicae* (L.)

Photoperiod (hr)	No. adults emerged	Pupal period of diapausing individuals* (days)		No. pupae examined
		Range	Mean±S.D.	
Darkness	0	–	–	14
12L12D	0	–	–	16
16L8D	11	75–145	105.5±24.3	15

*Larvae were reared at 20°C under 10L14D or 12L12D conditions. Pupae were kept at 20°C under different photoperiods or continuous darkness after pupation among 150 days.

Table 2. Larval and pupal periods of non-diapausing and diapausing individuals in the Hokkaido population of *Pieris brassicae* (L.)

	Larval period (Mean±S.D., days)	No. larvae examined	Pupal period (Mean±S.D., days)	No. pupae examined
Non-diapausing group	17.8±0.8	22	12.3±2.1	21
Diapausing group	22.0±1.4	58	14.8±0.9	33

Means are significantly different (p<0.05 by t-test).
Larvae were reared at 20˚C under 16L8D condition in the non-diapausing group or 10L14D and 12L12D conditions in the diapausing one. Pupae were kept at 20˚C under continuous darkness condition after pupation in the non-diapausing group or the chilling for 160 days at 5˚C in the diapausing one.

1). 本種の光周反応について, ロシア共和国の St. Petersburg (60°N), Belgorod (50°N), ベラルーシ共和国の Brest (52°N) の各個体群では, 23°Cのときの臨界日長はいずれの地域個体群でも約15時間であり, ロシア共和国のヨーロッパ地区の大部分はこの系統で占められていることが知られている (Danilevskii, 1961). それに対し, 分布の南限に近いグルジア共和国の Sukhumi (43°N) 個体群の臨界日長は約10時間であり, 光周反応に地理的変異が存在する (Danilevskii, 1961). 一般に, 北半球では, 同一種内の臨界日長は北方の個体群ほど長くなることが知られており, 生息地の緯度5°の差に対して約1‒1.5時間の割合で変化するといわれている (正木・矢田, 1988). しかし, 本種の場合は臨界日長が緯度に対して連続的に変化するのではなく, 分布圏のかなりの部分が同一の光周反応を示す系統で占められている (Danilevskii, 1961). そのため, 今回調べた本種北海道個体群の原産地を光周反応の点から推測することは困難であるが, 臨界日長が, St. Petersburg, Brest, Belgorodの個体群より約1時間短いことから, 少なくとも, これらの地域より南方の地域に原産地をもつ個体群が侵入した可能性が考えられる. 一方, 光周反応には, 同一個体群内でも遺伝的変異があり, 沖縄県石垣島のミナミマダラスズ *Dianemobius fascipes* の翅型に対する光周反応では, 28°Cでの臨界日長はブルード (brood) により12時間から13時間までの変異があることが知られている (Shimizu & Masaki, 1993). また, 近年, 北方に分布を拡大しているナガサキアゲハ *Papilio memnon* においては, 以前から分布していた鹿児島県名瀬市や鹿児島市の個体群ではブルードによる光周反応の差はほとんどみられないのに対し, 近年定着するようになった和歌山県和歌山市や大阪府箕面市の個体群では, 同じ光周条件でもブルードによる休眠率の差が大きく, この理由として, 異なる地域個体群の混在や新しく定着した土地の気候への適応が形成されつつあることなどが考えられている (Yoshio & Ishii, 1998).

今回調べた本種北海道個体群においても, 旧北区の分布の東限にあたる個体群であることから, 北海道個体群内部での光周反応の変異についてさらに調査が必要であると思われる.

次に, 幼虫期間を休眠群と非休眠群とで比較すると, 休眠群の20°Cでの幼虫期間は平均22.0日であり, 非休眠群の平均17.8日より有意に長かった (p<0.05) (Table 2). 本種での同様の事実は Gardiner (1979) によっても報告されており, 休眠群の幼虫期間が16.6日, 非休眠群で14.8日と休眠群で幼虫期間が長く, 蛹の重さも休眠蛹の方が非休眠蛹より6%重い (Gardiner, 1979). このように, 休眠群で幼虫期間が長くなる傾向は, Yata *et al.* (1979) によりモンシロチョウ *Pieris rapae crucivora*, タイワンモンシロチョウ *P. canidia*, スジグロシロチョウ *P. melete*, エゾスジグロシロチョウ *P. napi japonica* でも報告されているので一般的な現象であると思われる.

2. 休眠消去に及ぼす低温と光周期の効果

休眠蛹をそのまま一定の温度下においたときの蛹期間は休眠の深さを表す指標のひとつと考えてよい (石井, 1986). モンシロチョウ東京個体群の休眠蛹を蛹化後20°C・全暗の条件におくと蛹化後64‒115日 (平均80.3日) で羽化する (橋本, 1996). それに対し, 本種休眠蛹は同条件で羽化までに210‒297日を要し, しかも羽化率は43%にしか達しなかったので (Fig. 2A), 本種はモンシロチョウに比べ深い休眠を持ち, 20°Cの恒温条件では休眠が消去されない個体も多く含まれていると考えられる. 一定期間の低温条件が休眠消去に有効であることは, チョウ類の多くの種で知られており (正木・矢田, 1988), 本種の場合も, Gardiner (1985) によれば, 4°Cで12週間の低温処理の後20‒25°Cに加温すると加温後3‒4週間で羽化することが報告されている. しかし, 今回の実験で, 低温処理により休眠が完全に消去さ
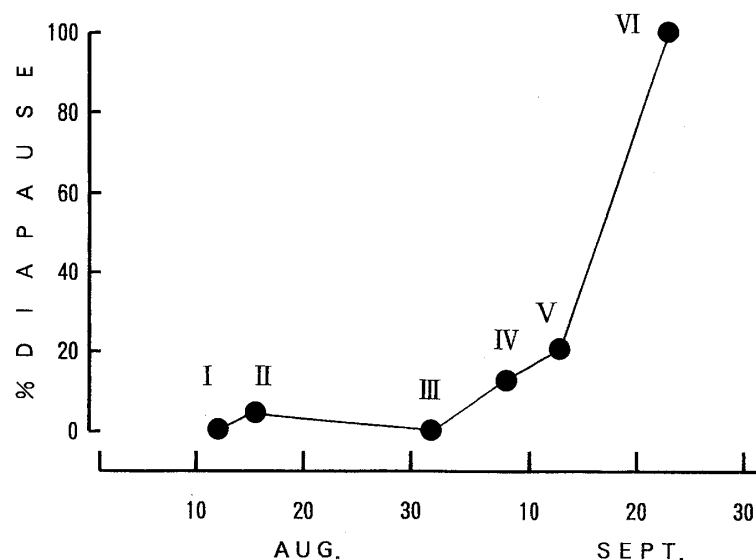
Fig. 3. Incidence of pupal diapause in the Hokkaido population of *Pieris brassicae* (L.). Larvae which were collected from the field in Sapporo City, were reared under natural day length and temperature conditions at Iwamizawa City, Hokkaido until pupation. I–VI groups of pupae, each composed 12 to 30 individuals, pupated at August 11, 12 (I), August 16, 17 (II), September 1 (III), September 8–10 (IV), September 14 (V) and September 22–26 (VI), respectively.

れたと考えられた実験群での, 低温処理後の加温から羽化までの日数は, 20°C で 14.8 ± 0.9 日であったので (Table 2), Gardiner (1985) による 4°C で 12 週間の低温処理では休眠は完全には消去されていなかったと考えられる. 今回の実験では, 5°C で 160 日間低温処理の後, 20°C で加温すると, 加温後 14–17 日の間にすべての個体が集中的に羽化した (Fig. 2D). それに対し, 低温処理期間が 63 日以下では羽化までの期間が長くかかり, 個体による差が大きいので羽化が散発的に行なわれ, しかも, 羽化率が低かった (Fig. 2B, C). また, 10°C での低温処理でも 160 日の処理の場合に, 羽化は加温後 16–18 日の間に集中した (Fig. 2F). これらの結果から, 本種北海道個体群の完全な休眠消去には 5°C または 10°C での低温処理では少なくとも 160 日程度の期間が必要であると考えられる.

一方, モンシロチョウでは, 東京個体群の休眠蛹を 5°C で 9 週間 (63 日) 低温処理すれば, 20°C で加温後 11.2 ± 2.5 日 (平均値 ± 標準偏差) で羽化し (橋本, 1992), 北海道個体群の場合も 55 または 65 日の低温処理の後, 26°C に加温後 8–12 日で羽化することが知られている (Masaki, 1955). これに対し, 本種北海道個体群の休眠消去には長期間の低温処理が必要であると考えられるが (Fig. 2D, F), この点は, 本種 St. Petersburg 産の個体群の休眠蛹も同様で, 正常な発育には長期間の低温が必要であり, 20°C 以上の定温状態では休眠が破れないか, あるいは 4–6 ヶ月後に少数が羽化するのみであることが知られている (Danilevskii, 1961).

また, 休眠消去に有効な低温の範囲として, Masaki (1955) はモンシロチョウの北海道個体群を用いて, −2–12°C の範囲の温度が低温として休眠消去に等しく有効であることを報告している. また, Danilevskii (1961) によれば, 本種休眠蛹を 0–10°C の範囲の低温に 5 ヶ月おき, 25°C で羽化させると, 90% 以上の蛹が羽化する. しかし, 今回の実験では 10°C の低温処理では羽化率が低かったことからも (Fig. 2E, F), 今後, 低温として有効な温度範囲やまた処理温度により効果に違いがあるかなどについて, さらに調べる必要がある.

3. 季節適応

Fig. 3 に示したように, 野外条件で休眠蛹が生じるのは 9 月に入ってからであり, 9 月下旬に蛹化した個体はすべて休眠蛹であった. 昆虫は日の出前あるいは日の入後の薄明・薄暮も明期として感受しているので, この時間を 30 分として (Beck, 1968) 日の出から日の入までの時間に加えた, 昆虫にとっての明期が, 本種北海道個体群の臨界日長である 13 時間 50 分 (Fig. 1) 以下になるのは, 札幌市を例にする

と, 8月末以降であり, この時期の平均気温の平年値はおよそ20°Cである (国立天文台, 2005). 本種が光周期に対する感受性をもつ時期は, 2齢幼虫の時期から,終齢幼虫への脱皮後1–2日までの間であることが知られている (Spieth, 1995). 今回の屋外飼育による調査で, 一部が休眠蛹となった9月8–10日または9月14日に蛹化した実験群 (Fig. 3) は, 20°Cでの幼虫期間をもとにすると (Table 2), それぞれの蛹化日から逆算して8月下旬から9月上旬にかけての, 日長時間が臨界日長の前後となる時期に, また, すべてが休眠蛹となった9月22–26日に蛹化した実験群 (Fig. 3) は9月上旬から下旬にかけての日長時間が臨界日長以下となっている時期にそれぞれ幼虫期を経過したことになる. このように, 野外での休眠蛹の形成経過は (Fig. 3), 実験的に求めた臨界日長の値 (Fig. 1) から充分説明され得る. Berugnon (1972) によれば, 本種の幼虫期間は15°Cで40日, 20°Cで18日, 25°Cで13日である. これらの値から本種幼虫の発育零点は約9.7°Cであると求められるが, 札幌市での平均気温の平年値は10月には10°C前後となり, 11月には本種幼虫の発育零点以下となる (国立天文台, 2005). したがって, 本種北海道個体群の野外での休眠蛹形成時期が9月中旬から下旬にかけてであることは (Fig. 3), 休眠に入るタイミングとして, 少なくとも札幌市付近の季節変化に対しては適した時期であると思われる. また, 本種休眠蛹の休眠消去には5°Cまたは10°Cで160日程度の長期の低温期間が必要であったが (Fig. 2), 札幌市では, 平均気温の平年値が5°C以下となる時期が11月中旬から4月中旬まで約150日間継続し, 10°C以下となる時期は10月中旬から4月下旬まで約200日間継続する. また, 日最高気温の平年値が5°C以下となる時期も12月から3月まで約120日間継続し, 10°C以下となる時期は11月から3月までの約150日間継続するので (国立天文台, 2005), 休眠消去に必要な低温期間としてほぼ十分な長さの低温の時期が存在すると考えられる. このように, 本種北海道個体群の蛹休眠誘起や休眠消去の条件は, 少なくとも札幌市付近での季節変化に対しては適応的であると思われる. 一方, 目下のところ本種の分布はほぼ, 北海道および青森県に限られ, 岩手県北部での採集記録も一部にはあるものの (小田, 2003), それより南方へは拡大していない (三橋, 2005). この要因として, 休眠消去には長い低温期間が必要であること, また, 北海道で発生した本種の飼育例から知られている, 高温・多湿条件では幼虫の死亡率が高いこと (藤井, 1997; 八谷, 1997) などが一因である可能性も考えられる. 今後は, 野外での発生動態, 例えば, 休眠終了時期と初見日との関係や年間の発生消長など本種の季節適応の全体像を把握するために, 北海道個体群での発育零点や有効温量などを明らかにする必要があろう.

謝　辞

稿を終えるにあたり, 実験材料の一部を提供され, 終始適切な助言をいただいた国際基督教大学教授加藤義臣博士に深甚なる謝意を表する. また, 実験を進める上で多大な援助を与えられた千葉県立衛生短期大学生物学研究室飯島和子助手に厚くお礼申し上げる. なお, 本研究の一部は平成12年度日本生命財団研究助成金 (代表者　筑波大学第二学群生物科学系教授 渡辺　守) により行った. 当財団に深く感謝する.

引用文献

Beck, S. D., 1968. *Insect Photoperiodism*. Academic Press, New York/London.

Berugnon, M. M., 1972. Etude de quelques caracteres du developpement postembryonnairede *Pieris brassicae* a trois conditions thermiques diffrentes. *Ann. Soc. ent. Fr.* **8**: 461–473.

Claret, J., 1973. La levee photoperidique de la diapause nymphale de *Pieris brassicae* (L.). *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris* **277** (D): 733–735.

Danilevskii, 1961. *Photoperiodism and seasonal Development of Insects* (原文ロシア語). 日高敏隆・正木進三 (訳), 1966. 昆虫の光周性. 東京大学出版会, 東京.

藤井　恒, 1997. オオモンシロチョウの記録一覧. やどりが (169): 47–53.

Gardiner, B. O. C., 1979. Talk at workshop on the Biology of the Pieridae held at the Royal Entomological Society, London on 17th October, 1979.

————, 1985. Singh, P. and R. E. Moore (Eds), *Handbook of Insect Rearing* **2**: 453–457. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.

八谷和彦, 1997. 北海道に侵入したオオモンシロチョウの発生状況. 植物防疫 **51**: 127–130.

橋本健一, 1992. モンシロチョウの季節適応. 昆虫と自然 **27** (6): 15–21.

————, 1996. モンシロチョウ *Pieris rapae crucivora* Boisduval (Lepidoptera, Pieridae) 沖縄個体群の光周反応. 蝶と蛾 47: 118–122.

石井　実, 1986. アゲハチョウ類—北上と季節適応. 桐谷圭治 (編), 日本の昆虫・侵略と攪乱の生態

学: 24–32. 東海大学出版会, 東京.
Johansson, A., 1959. Diapause and pupal morphology and color in *Pieris brassicae* L. (Lepidoptera: Pieridae). *Norsk ent. Tidsskr.* **9**: 86–90.
木村利幸, 1997. 北からの侵入種オオモンシロチョウ. インセクタリゥム **34**: 40–45.
国立天文台, 2005. 理科年表. 丸善, 東京.
Masaki, S., 1955. On the pupal diapause of *Pieris rapae* Linné (Lepidoptera: Pieridae), with special reference to the effect of temperature on its elimination. *Jap. J. appl. Ent. Zool.* **20**: 98–104.
三橋　渡, 2005. 青森市でオオモンシロチョウを採集. 月刊むし (418): 21.
小田公良, 2003. 岩手県でオオモンシロチョウを採集. 月刊むし (394): 4.
正木進三・矢田　脩, 1988. 蝶の季節適応と光周性. 三枝豊平・矢田　脩・上田恭一郎 (編), 蝶類学の最近の進歩　白水隆名誉会長記念論文集. 日本鱗翅学会特別報告 (6): 341–383.
Shimizu, T. and S. Masaki, 1993. Genetic variability of the wing-form response to photoperiod in a subtropical population of the ground cricket, *Dianemobius fascipes*. *Zool. Sci.* **10**: 935–944.
Spieth, H. R., 1995. Change in photoperiodic sensitivity during larval development of *Pieris brassicae*. *J. Insect Physiol.* **41**: 77–83.
上野雅史, 2001. オオモンシロチョウについての一考察 (第5報) 北海道全域に侵入したオオモンシロチョウについて. やどりが (189): 14–19.
Yata, O., Saigusa, T., Nakanishi, A., Suzuki, Y. and A. Yoshida, 1979. Photoperiodic response of four Japanese species of the genus *Pieris*. *Kontyû* **47**: 185–190.
矢田　脩, 1996. 日本から発見されたオオモンシロチョウ *Pieris brassicae* (Linnaeus) の由来について. 蝶研フィールド **11** (9): 6–11.
Yoshio, M. and M. Ishii, 1998. Geographical variation pupal diapause in the great mormon butterfly, *Papilio memnon* L. in Western Japan. *Appl. Ent. Zool.* **33**: 281–288.

Summary

The photoperiodic induction to diapause in a newly established population of *Pieris brassicae* (L.) in Hokkaido, Japan was studied by rearing larvae in different photoperiods ranging from 10L14D to 16L8D hr at 20°C. The critical photoperiod for pupal diapause was about 13hr50min. The pupal period of diapausing individuals at 20°C in continuous darkness ranged from 202 to 297 days. When diapausing pupae were kept at 5°C or 10°C for various periods, the longer chilling brought the earlier emergence of adults and the more synchronized emergence of adults. A well synchronized emergence from diapausing pupae was brought about by chilling them at 5°C or 10°C for 160 days. These conditions are comparable to the period of the cold season in the habitat of this population. The period of pupal stage of the diapausing group which had been chilled at 5°C for 160 days was 14.8±0.9 days, while that of the non-diapausing group was 12.3±2.1 days ($p<0.05$). When diapausing pupae were kept under long-day conditions of (16L8D), adults emerged within 145 days after pupation, while diapausing pupae kept under short-day conditions of (12L12D) or in continuous darkness were impeded from adult emergence. Thus the elimination of diapause was accelerated by a long day photoperiod. The period of larval stage of the diapausing group was 22.0±1.4 days, while that of the non-diapausing group was 17.8±0.8 days ($p<0.05$). Larvae which were collected in the field at Sapporo City in Hokkaido from early August to the middle of September, were reared under conditions of natural length of daylight and natural temperature. The first appearance of diapausing pupa was observed in the group that pupated in the middle of August. Since then, the percentage of diapausing pupae showed a steep increase until late in September, when all the pupae entered diapause. The present results, which were obtained in the laboratory, correlated well with the photoperiodic conditions of the diapause incidence observed in the field late in September.

(Accepted January 24, 2006)

Published by the Lepidopterological Society of Japan,
5-20, Motoyokoyama 2, Hachioji, Tokyo, 192-0063 Japan